

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТОХАСТИЧЕСКОГО РАСТРИРОВАНИЯ

In this article different screening methods are analyzed. The characteristics of quality definition of screening are given. A fractal approach of forming frequency-modulated screen is studied. The digital-analytical method of stochastic screening definition is applied on the basis of fractal theory.

В условиях рыночной экономики качество становится решающим фактором конкурентоспособности продукции. Растррирование — это один из процессов, от точного соблюдения параметров и выполнения режимов которого во многом зависит качество воспроизведения полутонного изображения. В свою очередь, качество растррирования зависит от способа формирования растровых элементов.

Самым распространенным на сегодняшний день является традиционное регулярное, или амплитудно-модулированное, растррирование, где тон передается точками различного размера, центры которых распределены по регулярной решетке. В последнее время довольно широко применяется стохастическое, или частотно-модулированное, растррирование. В этом случае традиционная растровая точка разбивается на микроточки одинакового размера. Тон передается количеством микроточек, случайно распределенных внутри единичной матрицы растррирования, так называемой битовой карты.

Оценка растррирования заключается в определении таких технических показателей растррирования, как форма точки, ее «жесткость», соответствие градационных размеров и площади определенному тону и др. Однако окончательные выводы основаны на визуальном контроле полученных изображений. Полиграфия — средство визуального общения, в процессе которого человек, благодаря свойству развитого визуального восприятия, без труда определит, где хорошо, а где плохо.

Следует выделить несколько показателей, характеризующих различные способы растррирования, при рассмотрении которых можно судить, собственно, о качестве и границах применимости того или иного растра.

Основными требованиями, предъявляемыми к растррированию, является воспроизведение заданного количества тонов и точная передача деталей изображения.

Известно, что тон зависит от количества микроточек. При регулярном растррировании они группируются в один растровый элемент, а при стохастическом растррировании микроточки распределены по битовой карте. При одной и той же линиатуре, т. е. при одинаковой битовой карте, размер микроточек будет совпадать. Современные лазерные технологии позволяют получить микроточки битовой карты малого размера (до нескольких микрон) с определенной «жесткостью» и плотностью. Однако уже на следующей стадии полиграфического производства — стадии получения печатных форм, а точнее, при экспонировании печатной пластины, когда изображение копируется с пленки на форму, — происходит потеря растровых микроточек. Это, естественно, сказывается на качестве изображения — светлые тона «выбиваются».

С другой стороны, за счет уменьшения размера растрового элемента стохастическое растррирование имеет гораздо большую разрешающую способность воспроизведения. При регулярном растррировании мелкие детали изображения могут исчезнуть, или, наоборот, за счет растискивания увеличиться в размерах. Аналогичная картина наблюдается и в «тнях» (максимальные тона 95—99%), когда растровые элементы за счет растискивания и текучести краски сливаются и образуют сплошной тон или плашку.

Амплитудно-модулированному растррированию присущи специфические недостатки. Если регулярные растровые точки не точно накладываются друг на друга, возникает паразитический узор в виде повторяющихся волнистых линий. Для устранения

этого недостатка, улучшения тонопередачи изображения, а значит — для удешевления производства качественной печатной продукции за счет ослабления требований к используемому оборудованию, используются различные углы наклона растра. Разные формы растровых точек (круги, эллипсы, квадраты, ромбы, линейки и т. д.) также применяются для борьбы с розеточной структурой (повторяющимся образованием перекрывающихся растровых точек четырех цветов), увеличения резкости изображения в полутонах и уничтожения шума, нарушающего узор мелких линий [1].

Серьезным недостатком также является скачок тоновых значений — видимая глазу граница между различными тонами. Для того чтобы избежать этого, используют эллиптические точки вместо круглых, суперячейки вместо равномерной сетки. Однако по-прежнему на тоновой шкале остается пункт, когда краска отдельных растровых элементов начинает перекрываться и зазоры становятся пробелами в черной сетке.

Известно, что при выборе режима, обеспечивающего нужную широту серой шкалы, пользуются зависимостью вида

$$K_{yc} = \left(\frac{R_b}{L} \right)^2 + 1,$$

где K_{yc} — количество уровней серого; R_b — разрешающая способность вывода; L — линиатура растра.

Уравнение показывает, что для получения большего числа уровней серого следует либо снижать линиатуру растра, либо увеличивать разрешение. В первом случае приходится жертвовать качеством изображения, во втором — скоростью обработки.

Рост мощности вычислительной техники позволил внедрить в практику растры высокой линиатуры, созданные на базе традиционных амплитудно-модулированных растров. Повышенная линиатура и аналогичный частотному модулированию уровень разрешающей способности позволяют воспроизводить детали и полутона изображения, почти не уступающие по качеству стохастическому растриванию [2]. Чтобы на оттиске не возникала видимая глазу структура при рассмотрении с расстояния 20 см (минимальное и достаточное для получения удовлетворительного результата расстояние), значение линиатуры растра должно быть более 120 лин/см. Недостатком данной технологии растривания является возможная потеря деталей в светах вследствие ограниченного числа воспроизводимых тонов.

Однако, несмотря на все подходы, направленные на улучшение качества амплитудно-модулированного растривания, основными его недостатками остаются тоновые скачки, муар, потеря крайних тонов.

На преодоление этих недостатков направлено частотно-модулированное растривание — стохастический процесс распределения на поле линеаризации элементов растра, представляющих собой не одну большую точку, а совокупность микроточек. По этой схеме элементы растра распределяются внутри поля — единичной матрицы растривания или битовой карты случайным образом. Сообразуясь со значениями тонопередачи, в областях высоких теней микроточки смыкаются между собой. Иллюзию плотности создает число, а не размеры растровых микроточек, количество которых точно определяет алгоритм растривания.

Стохастическое растривание не даст такого участка, где можно было бы обнаружить тоновый скачок или искажение прямых линий. Случайная картина распределения исключает появление муара. Четкость деталей ограничивается только размером микроточки.

Поскольку растривание и вывод происходит при фактическом разрешении выводного устройства (1200 dpi и выше), в данном случае можно работать с более низким, до определенного уровня, разрешением сканирования без потерь качества в конечном результате.

Но и стохастическому растриванию присущи свои недостатки. Некоторые из них связаны с технологией получения печатных форм и процессом печати, однако многие являются чисто алгоритмическими.

В областях однородных цистов и на светлых участках, где крапинки-микроточки распределяются с низкой частотой, можно наблюдать пятнистость (крапчатость, «голубой шум», шероховатость). И чем больше размер крапинки, тем очевиднее крапчатость. Этот микрорисунок иногда (на совершенно гладких в природе поверхностях) дает неверное представление о шероховатости [3]. Но крапчатость при стохастическом растрировании компенсируется хорошей детальностью, которая в большинстве случаев более важна.

В большинстве аппаратно-реализованных решений используется истинное частотно-модулированное преобразование, которое выполняется чисто случайным образом, т. е. при построении битовых карт и их расположении используется генератор случайных чисел. В этом случае на генерацию каждой новой битовой карты (определение местоположения микроточек) затрачивается много времени. Основных временных затрат требует цикл, где программа, прежде чем поставить микроточку в ячейку битовой карты, проверяет, свободна ли она. Таким образом, результат во многом зависит от качества генерации случайных чисел.

Производители программных растровых процессоров ускоряют этот процесс — предварительно производят набор битовых карт для всех тонов, а при растрировании алгоритм производит выборку и расстановку этих карт. Что-то подобное можно наблюдать в технологиях PostScript-вывода, когда в память выводного устройства «зашивается» набор наиболее используемых гарнитур и начертаний шрифтов, извлекаемых в дальнейшем при выводе для ускорения обработки больших объемов.

Применительно к устройствам фотонаборного вывода этот способ, в отличие от первого случая, когда необходимым является быстроедействие растрового процессора, приводит к увеличению требуемой «жесткой» и так называемой «мертвой» памяти. Необходимость выделения большого объема памяти для хранения наборов битовых карт и большая трата времени на операции обмена информацией между процессором и «жестким» диском репросистемы ограничивает применение стохастической технологии растрирования в условиях оперативной полиграфии с небольшими мощностями.

Таким образом, частотно-модулированное растрирование — это увеличенный расход времени, требовательность к объемам оперативной и «жесткой» памяти настольно-издательской системы, опасность возникновения крапчатости, а также маленький трудновоспроизводимый при печати размер растрового элемента, передающего тон.

Для того чтобы сохранить преимущества и попытаться преодолеть недостатки стохастического растрирования, на кафедре полиграфии Белорусского государственного технологического университета в настоящее время разрабатывается фрактальный подход к формированию частотно-модулированных битовых карт и вариантов их объединения [4].

Суть метода получения фрактального растра сводится к следующему. Как и при обычном стохастическом растрировании, в зависимости от заданного тона (процента заполнения) на битовой карте распределяется M микроточек. Микроточки распространяются от определенного центра, связываясь в кластеры или конгломераты, размер которых значительно меньше размера регулярных растровых элементов, т. е. решетчатая модель имеет M заполненных ячеек с общими гранями и углами соприкосновения (рис. 1).

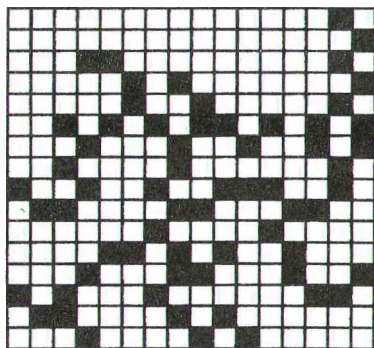


Рис. 1. Битовая карта 25%-ного тона с фрактальным заполнением

Такой кластер разветвленной структуры сохраняет все достоинства частотно-модулированного растривания, связанные с неповторяющейся картиной распределения растровых крапинок малого размера. Это позволяет с легкостью воспроизводить весь диапазон тонов и снизить требования к дальнейшим технологическим процессам. В памяти компьютера для каждого значения тона хранится одно число — фрактальная размерность, по которой алгоритм «на лету» воспроизводит битовую карту. Это значительно экономит объемы памяти и обуславливает увеличение скорости растривания по сравнению с истинно стохастическим.

Для подтверждения скоростных преимуществ фрактального растривания произведен эксперимент с определением времени, затрачиваемого на стохастическое и фрактальное растривание ряда битовых карт при заполнении на 10, 20, 30 и 40%. Выбор данного диапазона тонов для эксперимента обусловлен свойством «зеркала» алгоритма, при котором с достижением порога в 50% механизм генерирования микроточек на битовой карте инвертируется, в результате чего в диапазоне от 51 до 100% картина меняет свое изображение на «обратное». Определено, что скорость растривания набора кластерных битовых карт значительно превышает скорость истинно стохастического растривания (рис. 2).

Таким образом, фрактальный подход к формированию растра позволяет комплексно решить две проблемы — сжать информацию о битовой карте до одного параметра и повысить качество передачи полутонов.

Не менее важным, чем собственно растривание, является процесс оценки качества получаемой картины, направленный на оптимизацию тонопередачи. Анализ методов оценки качества растривания свидетельствует, что в настоящее время отсутствуют строгие математические алгоритмы и используется лишь визуальное определение качества тонового изображения по серии оттисков.

Для визуального анализа и сравнения стохастического и фрактального способов растривания были сгенерированы растровые шкалы с различными процентами заполнения (рис. 3). Промежуточное положение, занимаемое фрактальным растриванием по показателю величины растровых элементов, — компромиссный вариант, позволяющий избежать недостатков регулярного растривания и сохранить преимущества стохастического.

Задача численно-аналитической оценки качества растривания является не менее актуальной, чем разработка самих алгоритмов растривания. Для решения этой задачи предлагается новый метод, разрабатываемый в рамках фрактального подхода к растриванию. Этот альтернативный метод позволяет количественно описать различные варианты частотно-модулированных растров с позиции теории фракталов.

Здесь вводятся такие понятия, как фрактальная размерность, кластер и ряд других количественных характеристик и коэффициентов, по совокупности которых при помощи разрабатываемой методики можно установить соответствие или несоответствие получаемых данных требованиям, предъявляемым к качественному растриванию.

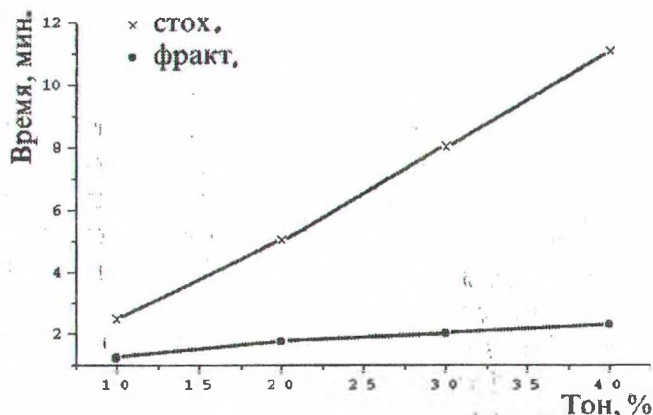


Рис.2. График зависимости времени фрактального и стохастического растривания от значения тона

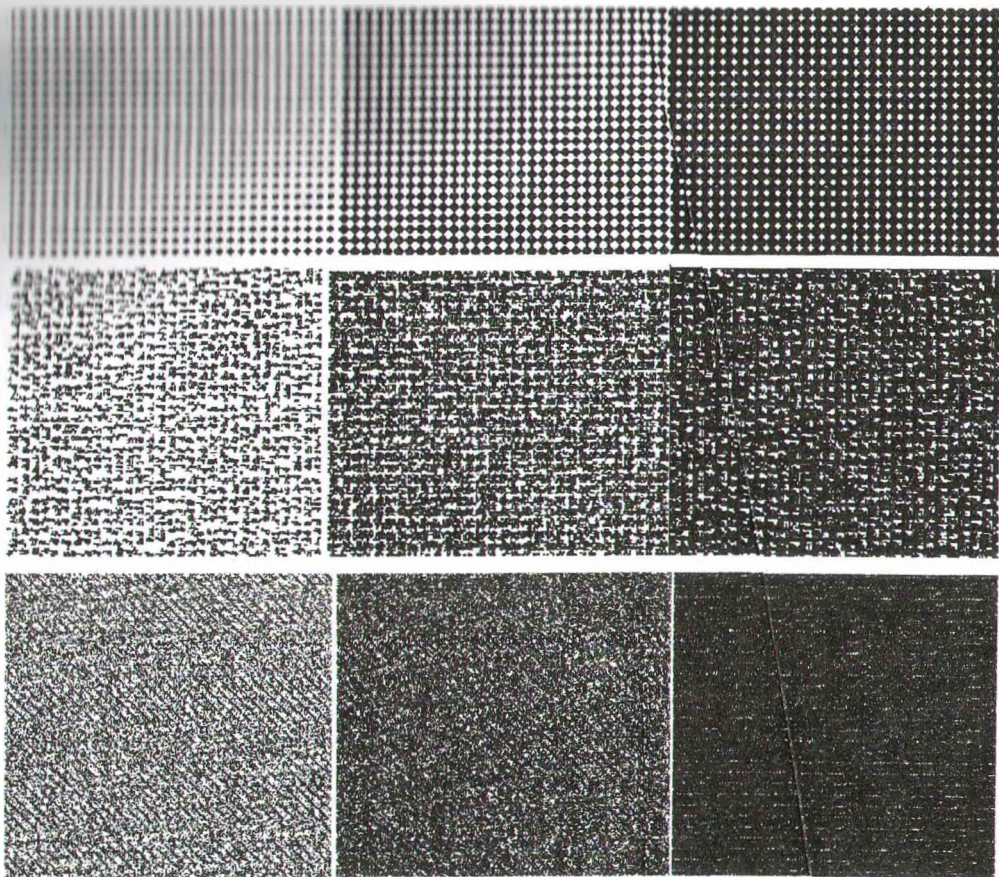


Рис.3. Примеры сгенерированных шкал с 25%, 50%, 75%-ным заполнением:
a — регулярный растр; *b* — фрактальный растр; *c* — стохастический растр

Основным анализируемым объектом является фрактальный кластер (или кластеры). Считается, что рядом расположенные ячейки (см. рис. 1) с общей стороной связаны целой (единичной) связью, ячейки-квадраты с общим углом имеют дробную связь, равную $1/4$.

Качество растра непосредственно связано с тем, насколько равномерно распределены микроточки по битовой карте и насколько устойчив характер растривания (при неповторяющейся картине стохастического распределения).

Абсолютно равномерное распределение можно представить как заполненные ячейки битовой карты в виде шахматной доски. Однако эта регулярная структура с мелкими крапинками не удовлетворяет требованиям качественного распределения. Другой крайностью является очень плотный кластер, приближающийся к регулярной растровой точке. Хороший кластер должен иметь достаточно разветвленную конфигурацию. Точки должны быть связаны между собой таким образом, чтобы форму можно было назвать формой «паука», т.е. распределение должно иметь некоторое ядро с разветвлениями несколько меньшей плотности, чем само ядро.

В ходе численного анализа отдельного кластера определяется его размер, число целых и дробных связей. При анализе решетчатой модели битовой карты по вертикальным и горизонтальным слоям (ширина слоя — одна ячейка) используется понятие кластеров-отрезков — совокупности подряд расположенных на одном слое микроточек.

Таким образом, для анализа структуры распределения микроточек используются числовые характеристики кластера:

n — размер кластера со всеми связями (целыми и дробными);

S_1 — число целых связей кластера;

$S_{0,25}$ — число дробных связей кластера;

S — общее число связей кластера, $S = S_1 + 1/4 \cdot S_{0,25}$;

r — радиус кластера;

$r_{эф}$ — эффективный радиус кластера, то есть радиус кластера того же размера, представляющего собой одну макроточку регулярного метода растривания [4].

С помощью этих числовых характеристик кластера определяются следующие коэффициенты.

1. Отношение радиуса кластера к эффективному радиусу $R = r/r_{эф}$, где $r_{эф}$ — так называемый эффективный радиус, равный радиусу круглой точки регулярного растра того же тона. Значение r определяется как максимальное значение из расстояний от центра кластера до каждого из углов прямоугольника, в который вписан кластер. Координаты центра представляют собой среднее значение координат всех точек кластера. Коэффициент R говорит о том, на каком расстоянии от центра находится наиболее удаленная точка кластера, т. е. чем больше R , тем разветвленней кластер.

2. Отношение числа дробных связей к числу целых связей кластера $K_{отн} = S_{0,25}/S_1$. Коэффициент $K_{отн}$ позволяет судить о количестве в кластере целых вкраплений (групп микроточек, соединенных целыми связями) по сравнению с числом неплотных структур, соединяемых дробными связями. Чем больше этот коэффициент, тем меньше «плотность» кластера (довольно разреженная структура с небольшими целыми кластерами внутри).

3. Отношение числа всех связей к размеру кластера $K_{св} = S/n = (S_1 + 1/4 \cdot S_{0,25})/n$. Коэффициент $K_{св}$ говорит об общем числе связей кластера определенного размера, то есть в некотором смысле характеризует площадь и конфигурацию кластера. Чем больше этот коэффициент, тем менее разветвленным является кластер.

Для оценки растрового заполнения совокупностью фрактальных кластеров алгоритмом выбирается область, состоящая из 9 соседних карт с определенным процентом заполнения. На рис. 4 представлена одна из областей 50%-ного заполнения. Запечатанным ячейкам соответствует черный цвет, незапечатанным — белый.

В рассматриваемой области анализируются все кластеры, определяется их число, вычисляется количество и размеры вертикальных и горизонтальных отрезков. Последняя характеристика позволяет судить об инвариантности картины при повороте на 90° и исключить растровые элементы в виде длинных полос, которые могут быть обнаружены невооруженным глазом.

Видно, что каждый из коэффициентов показывает лишь некоторые характеристики кластеров, поэтому именно рассмотрение всех их в комплексе с визуальным анализом получаемых распределений можно назвать системой или методом оценки качества растривания.

Так, характеристики приведенного на рис. 4 фрактального кластера подтвердили его относительно высокую плотность, когда большое число микроточек (примерно три четверти) группируются в один кластер, вместе с тем кластер имеет большой радиус и хорошо разветвленную структуру. Такой же анализ чисто случайной картины

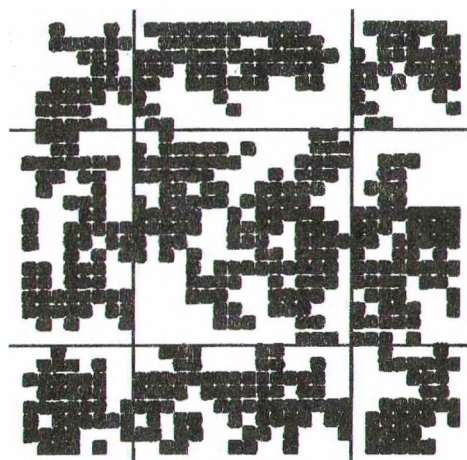


Рис. 4. Пример анализируемой области (совокупности 9 битовых карт) для 50%-ного заполнения

распределения микроточек еще раз подтвердил, что фрактальное распределение с точки зрения кластеров занимает некоторое промежуточное положение между регулярными и стохастическими растрами.

В рамках численно-аналитического подхода к оценке качества растрирования для каждого тона на основе визуального анализа полученных оттисков можно определить допустимые границы рассчитываемых коэффициентов, которые затем будут использоваться при автоматической проверке результата растрирования. Несомненно то, что для каждого конкретного случая (краски, уровня тона, вида работы) вывод о применимости того или иного набора битовых карт необходимо делать на основании совокупности и численных, и визуальных характеристик растра. Именно таким опытным путем за много лет производственной практики полиграфистами установлено, что круглая форма регулярной растровой точки приводит к появлению тоновых скачков. Вначале было замечено, что изменение формы точки с круглой на эллиптическую приводит к некоторому снижению этого эффекта. Затем специалисты по растрированию пришли к выводу, что эллиптическая форма точки действительна не на всем протяжении диапазона выводимых тонов. Сейчас практически все производители растрирующего программного обеспечения используют набор форм точек, комбинирование которых в разных тонах позволяет значительно снизить эффект тонового скачка.

Таким образом, желательным является метод, в котором сразу после работы алгоритма растрирования производится вычисление вышеописанных характеристик и коэффициентов для анализируемых областей. Это позволит судить о качестве того или иного частотно-модулированного растра, не обязательно фрактального. Благодаря кластерному принципу, алгоритм определения числовых характеристик позволяет анализировать всевозможные структуры с точки зрения появления различных связей микроточек и их концентрирования в кластеры.

В этом плане рассматриваемый путь — использовать теорию фракталов для описания структур из микроточек на битовой карте — представляется весьма перспективным. Дальнейшая работа в этом направлении позволит обоснованно судить о качестве полиграфических изданий с учетом затрат времени и ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хевенор Кейт. Способы растрирования // КомпьюАрт. — 1997. — № 7. — С. 30—31.
2. Schlapfer K. Les trames fines sontelles une alternative au trimage a modulation de frequence? // Ugra-Mitt. — 1993. — № 3. — С. 56—60.
3. Усов В. Альтернативные методы растрирования // Полиграфия. — 1994. — № 4. — С. 24—27.
4. Кулак М. И., Долгова Т. А., Яковлев М. К. Фрактальные аспекты теории стохастических растров // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информатика. — 2000. — Вып. 8. — С. 65—73.